

# Laboratorio Remoto eLab3D: un Mundo Virtual Inmersivo para el Aprendizaje de la Electrónica

S. López, A. Carpeño y J. Arriaga

Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control, Madrid, España

**Resumen**— En este artículo se presenta un recurso educativo novedoso, basado en un laboratorio remoto, que permite a los estudiantes, a través de Internet, la realización de experimentos reales en el área de la electrónica. Se ha creado un mundo virtual 3D donde los usuarios, a través de sus avatares, pueden interaccionar con réplicas virtuales de instrumentos, placas de circuitos, componentes o cables y con compañeros y profesores, de forma similar a como lo harían en un laboratorio presencial. Este recurso ofrece múltiples posibilidades que pueden ser muy útiles en los diferentes niveles educativos. Se han llevado a cabo algunas experiencias educativas de utilización de la plataforma con el fin de valorar sus posibilidades docentes y los resultados obtenidos han sido muy positivos.

**Palabras clave**— Laboratorio remoto, prácticas de electrónica, enseñanza en ingeniería, mundos virtuales, eLearning.

**Abstract**— This paper presents an innovative educational resource, based on a remote laboratory, which allows users to conduct real experiments through Internet in the area of electronics. A 3D virtual world has been created in which users, by means of their avatars, can interact with virtual replicas of instruments, circuit boards, components or cables and with peers and teachers, as they would in a traditional laboratory. This resource offers multiple possibilities that can be very useful in the different education levels. Some educative experiences have been carried out using the platform to evaluate its educational possibilities and the obtained results have been very positive.

**Index Terms**— Remote laboratory, electronic experiments, engineering education, virtual worlds, eLearning.

## I. INTRODUCTION

El uso de laboratorios remotos como recurso educativo está siendo cada vez más extendido por las posibilidades docentes que pueden aportar [1]. El concepto de laboratorio remoto es ampliamente conocido en los ámbitos industriales y docentes desde hace ya más de una década, y se centra, de forma básica, en la posibilidad de realizar prácticas o experimentos sobre sistemas reales a través de Internet [2]. Para justificar la expansión del uso de laboratorios remotos es importante destacar los beneficios que pueden aportar en las enseñanzas de tipo práctico [3]:

- Acceso al laboratorio para los estudiantes 24/7.
- Mayor flexibilidad en tareas de planificación a nivel docente y organizativo (apertura de locales,

asignación de horarios entre la plantilla de profesores, etc.).

- Mayores posibilidades para el aprendizaje autónomo del estudiante.
- Reducción de costes debido a la posibilidad de compartir recursos.
- Disminución del riesgo de efectuar daños en el equipamiento del laboratorio.
- Aumento de las posibilidades de colaboración a nivel educativo y de investigación con otras instituciones.
- Mayores posibilidades a la hora de realizar una evaluación formativa que ayude a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- Apertura a colectivos de estudiantes de otros centros que no dispongan de la infraestructura necesaria para realizar las prácticas o que tengan algún tipo de problema de accesibilidad (discapacitados, etc.).

Para la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) no han pasado desapercibidas las posibilidades educativas de los laboratorios virtuales y remotos. Por esta razón desde el año 2010 se han estado financiando proyectos de innovación educativa relacionados con el desarrollo de laboratorios virtuales y remotos para diferentes disciplinas en el ámbito de la ingeniería. Entre los resultados obtenidos cabe destacar el desarrollo de una plataforma, denominada eLab3D, que se ha diseñado con el objetivo principal de proporcionar un recurso educativo que ayude a mejorar el aprendizaje de los estudiantes en el área de la electrónica. Con el uso de este laboratorio remoto por parte de los estudiantes, profesores e incluso profesionales vinculados al ámbito de la electrónica es posible adquirir o entrenar ciertas destrezas prácticas desde un entorno que emula con bastante fidelidad un laboratorio presencial de electrónica. En concreto la plataforma eLab3D permite, a través de Internet en un entorno virtual 3D, el control de los instrumentos típicos de un laboratorio de electrónica y la interacción real, manipulando cables y conectando componentes, con diferentes tarjetas de circuitos electrónicos.

Entre los objetivos básicos que se han considerado a la hora de desarrollar la plataforma eLab3D merecen especial atención los siguientes:

- Proporcionar una elevada sensación de realismo gracias a la utilización de un mundo virtual 3D y a la forma de manipular todos los objetos relacionados con el laboratorio (instrumentos, cables, componentes, placas, etc.).
- Facilitar la interrelación entre estudiantes y profesores permitiendo el aprendizaje cooperativo.
- Incrementar la motivación y el interés de los estudiantes en el aprendizaje. La utilización de avatares les resulta muy familiar al estar

acostumbrados a usarlos cuando juegan en sus casas con sus consolas. Por tanto, la actividad educativa puede verse beneficiada al estar relacionada con las actividades lúdicas de los estudiantes.

- Potenciar el aprendizaje activo. El estudiante no asume un rol pasivo sino que en todo momento debe tomar decisiones que influyen en su aprendizaje, como son la elección de la placa de pruebas, la selección de los componentes apropiados, el montaje de los mismos en la placa, la configuración de los instrumentos, la toma de medidas y la valoración de las mismas.
- Conseguir la adquisición de competencias prácticas muy similares a las que se alcanzan en un laboratorio presencial.

El presente artículo se ha estructurado en dos partes. En la primera parte se aborda una breve descripción relacionada con las tecnologías involucradas en el desarrollo de la plataforma con la intención de proporcionar una idea sobre las posibilidades educativas que puede ofrecer eLab3D. En la segunda parte se presentan las experiencias docentes centradas en el uso de eLab3D que se han realizado en los ámbitos de la enseñanza superior y secundaria.

## II. DESCRIPCION BASICA DE LA PLATAFORMA ELAB3D

Para desarrollar la plataforma eLab3D se han tenido en cuenta diversos aspectos tecnológicos y pedagógicos. En el ámbito tecnológico, de forma genérica, se han requerido conocimientos específicos en el diseño de sistemas automáticos de medida, el diseño hardware de sistemas electrónicos y el diseño de aplicaciones software optimizadas para que permitan el control, la comunicación y el acceso al laboratorio remoto [0]. En el ámbito pedagógico ha sido fundamental la experiencia en el campo del eLearning para conseguir definir los objetivos de aprendizaje adecuados según las competencias que se deban alcanzar mediante la realización de experimentos en un laboratorio relacionado con la ingeniería [0]. Teniendo en cuenta que nuestro interés se ha centrado en el área de la electrónica se tomaron como referencia varios laboratorios remotos específicos de esta área [0],[7].

En la Fig. 1 se muestra la arquitectura de la plataforma eLab3D que está formada por un conjunto de elementos hardware y aplicaciones software.

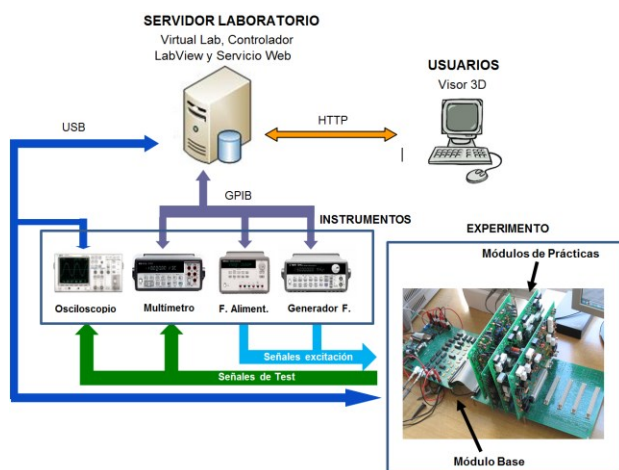


Figura 1. Arquitectura de eLab3D

Los elementos hardware están constituidos por los bloques denominados “Instrumentos” y “Experimento” representados en la Fig. 1. El bloque Instrumentos incluye los instrumentos típicos que se utilizan en un laboratorio de electrónica: fuente de alimentación, generador de señales, osciloscopio y multímetro. Todos ellos se controlan, mediante interfaces GPIB y USB, por el servidor del laboratorio.

El bloque Experimento está constituido por un sistema modular que incluye un módulo base, que se comunica mediante USB al servidor y que dispone de una serie de “slots” donde se conectan los diferentes módulos de prácticas. Estos últimos incluyen los circuitos electrónicos, configurables de forma dinámica, que permiten la realización de las diferentes prácticas. Actualmente se dispone de módulos de prácticas para poder realizar experimentos con circuitos basados en componentes pasivos, diodos, transistores y amplificadores operacionales.

Las aplicaciones software necesarias para el funcionamiento de la plataforma eLab3D se muestran en la Fig. 2.

La funcionalidad básica de cada una de las aplicaciones es describe a continuación:

- *Visor 3D*: aplicación de libre distribución que utiliza el estudiante para poder acceder al mundo virtual 3D (Virtual Lab). Cada estudiante dispone de un “avatar” y con él puede comunicarse con otros avatares e interactuar con los objetos del mundo virtual. El visor que se utiliza actualmente es Firestorm.
- *Virtual Lab*: mundo virtual que se ha desarrollado mediante la plataforma de código abierto Opensim. Controla todas las acciones que realizan los avatares ejecutando el código asociado a cada objeto (script) sobre el que actúa cada estudiante. Los scripts están desarrollados mediante el lenguaje LSL (Linden Scripting Language). El mundo virtual se ha creado intentando emular un entorno lo más cercano posible a la realidad. Contiene como elemento principal un edificio en el que están construidas diferentes estancias: salas de laboratorio, salas de video, salas de reuniones, etc. En las salas de laboratorios, lugar donde habitualmente realizarán sus actividades los estudiantes, existen varios puestos de trabajo. En cada puesto de trabajo (Fig. 3) cada estudiante dispone de los instrumentos y del material necesario para realizar las diferentes prácticas, incluyendo las placas de prueba (Fig. 4), cables y componentes.
- *Servicio Web*: aplicación que se encarga de gestionar, mediante el protocolo HTTP, la comunicación entre el Virtual Lab y la aplicación Controlador LabView.

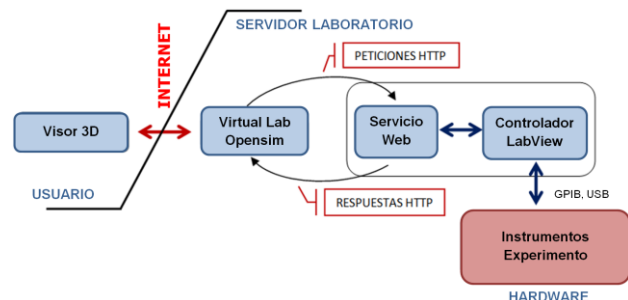


Figura 2. Aplicaciones software de eLab3D



Figura 3. Puesto de Laboratorio

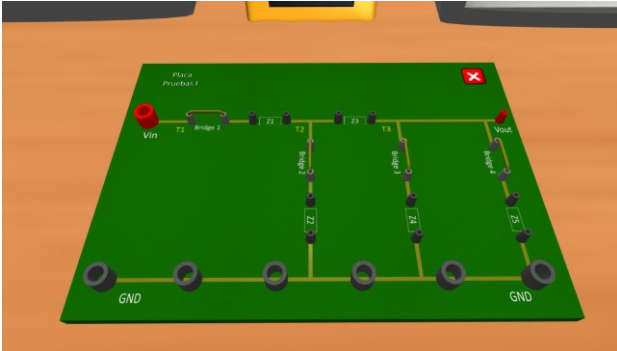


Figura 4. Placa de pruebas para circuitos con componentes pasivos

- **Controlador LabView:** aplicación desarrollada con el entorno de programación LabVIEW de National Instruments encargada de controlar las acciones que realiza cada estudiante, y de gobernar, en función de dichas acciones, los Instrumentos y el Experimento.

El modo de operación de un usuario en la plataforma eLab3D es muy similar al que realizaría en un laboratorio de electrónica presencial. Una vez reservado un puesto de laboratorio el usuario puede acceder al mismo y comenzar a realizar el experimento. En primer lugar deberá elegir la placa de pruebas con la que va a trabajar, seleccionada en función del tipo de circuito que vaya a montar y testear. Con la placa de pruebas sobre la mesa podrá realizar el montaje de los componentes y realizar las conexiones de los cables entre la placa y los diferentes instrumentos de excitación y medida. Respecto al montaje del circuito es importante destacar que la plataforma está diseñada para que se permitan realizar circuitos cuyo funcionamiento no sea correcto, como ocurriría en un laboratorio presencial, siempre que dichos circuitos no causen daños en los componentes o a los equipos. Una vez realizado el montaje del circuito y las conexiones de los cables el usuario podrá interactuar con los diferentes instrumentos para testear el funcionamiento del mismo.

Aunque la plataforma está diseñada para que varios usuarios pudieran interactuar con los objetos de un mismo puesto de laboratorio y permitir el trabajo colaborativo, en las primeras pruebas se ha decidido no habilitar esta opción con el fin de evitar así posibles situaciones en las que desavenencias entre varios usuarios trabajando en el mismo puesto impidieran una correcta ejecución del experimento. Todas las acciones que realiza el usuario en un puesto de laboratorio, relacionadas con un experimento, se registrarán en una base de datos para que puedan ser consultadas por los profesores en las tareas de evaluación. Cualquier usuario puede colaborar

con otro en la realización de una práctica utilizando las herramientas de comunicación incorporadas en el visor 3D.

La plataforma permite que varios usuarios, ocupando diferentes puestos de laboratorio, puedan operar de forma simultánea, realizando incluso diferentes tipos de experimentos. Las acciones realizadas por cada usuario son atendidas siguiendo una secuencia tipo FIFO (first input first output). Para que no se produzcan retardos excesivos en la atención a cada usuario, en la implementación actual de la plataforma se ha limitado a 12 el número de usuarios que pueden trabajar en paralelo.

### III. EXPERIENCIA PILOTO

Para valorar las posibilidades docentes de la plataforma eLab3D se decidió planificar una experiencia piloto en la que participaran estudiantes y profesores de enseñanza universitaria y secundaria. Entre noviembre de 2012 y Febrero de 2013 un conjunto de 16 estudiantes de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicación de la Universidad Politécnica de Madrid y 9 profesores vinculados al área de la electrónica utilizaron la plataforma eLab3D para realizar una serie de actividades prácticas y completar, una vez finalizadas dichas actividades, una encuesta en la que se les solicitaba su valoración personal.

Las actividades que se propusieron en la experiencia consistieron en la lectura de un manual de usuario, que incluía una descripción inicial básica del entorno y un tutorial guiado con una serie de ejercicios prácticos, y en la realización de una práctica virtual. En dicha práctica virtual se realizaron las siguientes tareas:

1. Determinar la influencia de la impedancia de salida del generador de funciones mediante el circuito de la Fig. 5.
2. Determinar la influencia de la impedancia de entrada del osciloscopio mediante el circuito de la Fig. 6.
3. Analizar el funcionamiento de un circuito RC mediante el circuito de la Fig. 7.
4. Detectar una avería en el circuito electrónico (filtro paso alto) de la Fig. 8.

La encuesta que completaron los participantes contenía 50 cuestiones que podían ser valoradas entre 1 (nada de acuerdo) y 5 (totalmente de acuerdo). Las cuestiones se seleccionaron y agruparon para poder valorar los siguientes factores: facilidad de utilización, fiabilidad de la plataforma, percepción de inmersión, aprendizaje percibido, utilidad y satisfacción. Los resultados que se obtuvieron se muestran en la Tabla I.

Del análisis de los resultados se dedujo que la plataforma eLab-3D generó impresiones muy positivas en todos los elementos de valoración. Sin embargo, se tuvieron en cuenta algunas consideraciones particulares.

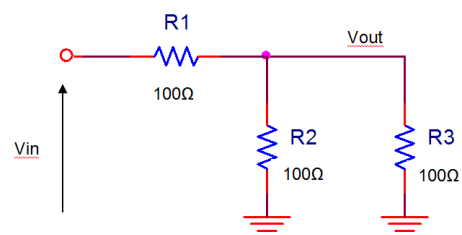


Figura 5. Circuito para realizar actividad 1

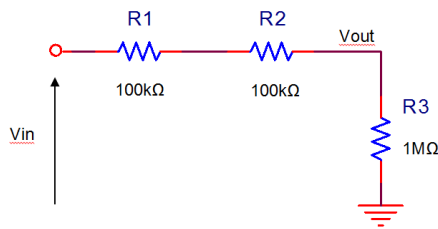


Figura 6. Circuito para realizar actividad 2

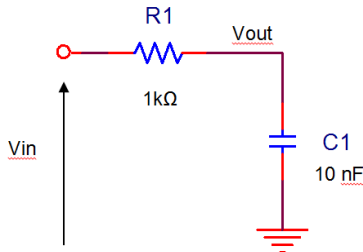


Figura 7. Circuito para realizar actividad 3

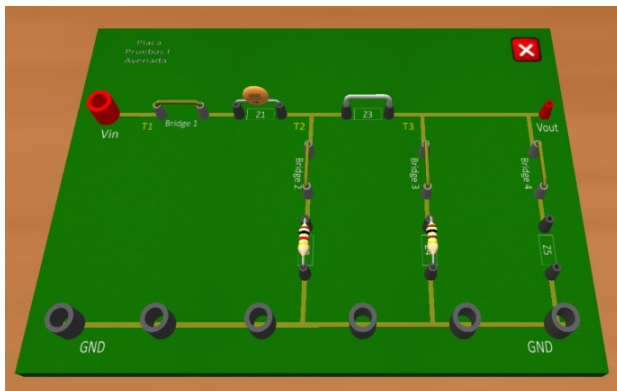


Figura 8. Circuito para realizar actividad 4

La fiabilidad del entorno fue muy elevada, aspecto muy importante que evitó el rechazo por parte de los estudiantes y profesores. Por otra parte, se evidenció que el manejo del interfaz gráfico no era del todo sencillo y se requería cierta destreza para manejarse en el mundo virtual. Otro aspecto que se destacó fue la elevada capacidad del mundo virtual para replicar los elementos y el ambiente de un laboratorio real. Destacó la convicción por parte del usuario de estar realizando un experimento real y no una simulación por ordenador, objetivo básico perseguido por un laboratorio remoto. La percepción de inmersión también fue valorada positivamente aunque el formato de la experiencia no permitía evaluar de manera intensa las posibilidades de la plataforma respecto a este aspecto. En cuanto al aprendizaje percibido por parte de los estudiantes, que obtuvo la menor valoración, conviene destacar que tras entrevistas personales que se mantuvieron con ellos con posterioridad se descubrió que en su valoración había influido el tipo de circuitos que se habían elegido para la experiencia, considerados por algunos de ellos como demasiado sencillos. Por último, la valoración bastante elevada de los factores utilidad y satisfacción contribuyó a apoyar la idea sobre las posibilidades de la plataforma relacionadas con su capacidad para aumentar la motivación y el interés en los estudiantes.

TABLA I  
RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXPERIENCIA PILOTO

	Media (Desv. tip)	
	Estudiantes	Profesores
Facilidad de utilización	3,8 (0,6)	3,9 (0,2)
Fiabilidad	4,2 (0,5)	4,3 (0,7)
Percepción de inmersión	3,9 (0,4)	4,2 (0,4)
Aprendizaje percibido	3,2 (1,3)	4,7 (0,3)
Utilidad	4,2 (0,5)	4,6 (0,2)
Satisfacción	4,3 (0,5)	4,7 (0,5)

#### IV. EXPERIENCIAS EN CENTROS DE ENSEÑANZA SECUNDARIA

Finalizada la experiencia piloto varios de los profesores de enseñanza secundaria que participaron en la misma propusieron la realización de una experiencia de uso de eLab3D en sus respectivos centros. Dichas experiencias no se formalizaron con una estructura común ya que se realizaron en diferentes cursos y asignaturas. Cada grupo de profesores organizó las experiencias relacionadas con el uso de la plataforma eLab3D atendiendo a sus propios criterios docentes.

A continuación se describen las experiencias realizadas en cada instituto incluyendo las valoraciones aportadas por el conjunto de profesores y estudiantes que participaron en ellas. Tras la descripción de las experiencias se presentarán las conclusiones globales más relevantes extraídas de las mismas.

##### A. Instituto de Enseñanza Secundaria García Morato (Madrid)

- Curso: Primero de Bachillerato<sup>1</sup>
- Asignatura: Tecnología Industrial I.
- Número de alumnos participantes: 12
- Local de realización: Taller-Laboratorio y Aula de Informática.
- Metodología: Trabajo cooperativo en los puestos de laboratorio supervisado por el profesor.
- Tiempo dedicado: 3 sesiones presenciales de una hora.
- Actividades: En la primera sesión se montaron en el laboratorio sobre placas de inserción varios circuitos basados en resistores y condensadores (Asociación de resistores en serie y paralelo y carga y descarga de un condensador). Sobre dichos circuitos se obtuvieron diferentes medidas con el multímetro y el osciloscopio. En la segunda sesión se utilizó un simulador (Crocodile Technology) para comparar los resultados de las simulaciones con las medidas obtenidas en el laboratorio. En la tercera sesión se utilizó el laboratorio eLab3D para montar los mismos circuitos y tomar las medidas comparándolas con las medidas obtenidas en el laboratorio.
- Uso de eLab3D: Se integró en la planificación de tareas a realizar en la práctica. El profesor orientó y supervisó en todo momento las acciones de los estudiantes en el mundo virtual.
- Valoraciones: El resultado global ha sido bastante positivo y satisfactorio. El hecho de utilizar un entorno similar al de los videojuegos, manejando un

<sup>1</sup> Se puede consultar el siguiente enlace para conocer el organigrama del sistema educativo español:  
<http://centros5.pntic.mec.es/ies.juan.carlos.11/SISTEMAEDUCATIVO.htm>

avatar, causó una gran impresión en los estudiantes y aumentó su interés. También tanto profesores como estudiantes valoraron de forma muy positiva la opción de poder interactuar con el laboratorio remoto en un aula diferente al taller-laboratorio.

*B. Instituto de Enseñanza Secundaria María Zambrano (Leganés, Madrid)*

- Curso: Segundo de Bachillerato.
- Asignatura: Tecnología Industrial II.
- Número de estudiantes participantes: 5, de forma voluntaria.
- Local de realización: Aula de Informática.
- Metodología: Trabajo autónomo del estudiante.
- Tiempo dedicado: 1 sesión presencial de una hora y el tiempo variable que cada estudiante necesitó para completar las actividades.
- Actividades: En la sesión presencial el profesor realizó una demostración sobre el uso de la plataforma eLab3D. Terminada dicha sesión los estudiantes en varias sesiones de forma autónoma realizaron las cuatro tareas prácticas de la práctica virtual que se propusieron para la experiencia piloto, descritas en la sección anterior.
- Uso de eLab3D: Se utilizó como recurso complementario en el aprendizaje. Los estudiantes, cada uno a su ritmo, trabajaron con la plataforma sin un seguimiento personalizado del profesor.
- Valoraciones: Finalizada la experiencia el profesor mantuvo una reunión con los estudiantes para conocer sus opiniones. Todos ellos se mostraron muy satisfechos con la experiencia valorando de forma relevante el hecho de haberse sentido, aunque de forma virtual, estudiantes universitarios durante unas semanas y haber manejado de forma remota equipos con prestaciones superiores a los disponibles en su instituto.

*C. Instituto de Enseñanza Secundaria Satafi (Getafe, Madrid)*

- Curso: Primero del Ciclo Formativo de Grado Superior Desarrollo de Productos Electrónicos.
- Asignatura: Electrónica Analógica.
- Número de estudiantes participantes: 5
- Local de realización: Taller-laboratorio y Aula de Informática.
- Metodología: Trabajo autónomo del estudiante.
- Tiempo dedicado: 1 sesión presencial de una hora y el tiempo variable que cada estudiante necesitó para completar las actividades.
- Actividades: La experiencia se dividió en tres fases. Las dos primeras se realizaron de forma consecutiva y la tercera varias semanas después cuando se terminaron de impartir los conocimientos teóricos necesarios para poder realizar la práctica virtual que se propuso en la experiencia piloto. En la primera fase se realizó una sesión presencial en la que el profesor presentó un video demostrativo del funcionamiento de eLab3D y comentó los aspectos más importantes relacionados con el interface de la plataforma. En la segunda fase los estudiantes completaron un tutorial para familiarizarse con la forma de utilizar los instrumentos y el montaje y prueba de los circuitos. En la última fase los estudiantes en varias sesiones de forma autónoma

realizaron las cuatro actividades de la práctica virtual descritas en la experiencia piloto.

- Uso de eLab3D: Se utilizó como recurso complementario en el aprendizaje. Los estudiantes, cada uno a su ritmo, trabajaron con la plataforma sin un seguimiento personalizado del profesor.
- Valoraciones: Se realizó al finalizar la tercera sesión una reunión para poner en común las impresiones de los estudiantes. Todos se mostraron muy satisfechos con la experiencia valorando la posibilidad de acceder a equipos de mejores prestaciones que los utilizados en el instituto y la ventaja de disponer de un laboratorio accesible desde sus casas.

*D. Conclusiones globales sobre las experiencias*

Una vez finalizadas las experiencias en los respectivos institutos se analizaron, junto a los profesores participantes, los puntos fuertes y débiles de la plataforma en su uso como recurso educativo.

Como aspectos positivos se destacaron los siguientes:

- Se trata de un entorno innovador que fomenta la motivación y el interés en los estudiantes.
- Se facilita el acceso a profesores y estudiantes a un equipamiento con prestaciones superiores al que disponen en sus centros.
- Se puede utilizar para afianzar los conocimientos teóricos que se imparten en las clases presenciales.
- Se puede utilizar en diferentes asignaturas o módulos del área de la electrónica.
- Se pueden utilizar locales adicionales a los talleres-laboratorios para poder completar las prácticas.

Como aspectos a mejorar se propusieron los siguientes:

- La calidad de la interacción con eLab3D es dependiente de las prestaciones del ordenador que se utilice, sobre todo las de la tarjeta gráfica que tenga instalada y el ancho de banda de la conexión a Internet disponible.
- Se debe dedicar un tiempo inicial para aprender a controlar la cámara del visor 3D que permite la visualización de los diferentes objetos del mundo virtual.
- Mayor disponibilidad de placas de pruebas no solo en el ámbito de la electrónica analógica sino también en el área de la electrónica digital.

## V. CONCLUSIONES

La plataforma eLab3D es un recurso educativo que ofrece múltiples posibilidades en el ámbito de la enseñanza de la electrónica. La versatilidad de eLab3D, reflejada en varias de las experiencias que se han realizado hasta el momento, permite pensar que su uso podría aportar mejoras en los procesos de enseñanza-aprendizaje vinculados a la educación secundaria y superior. Conviene mencionar que la plataforma eLab3D está integrada en la red de laboratorios virtuales de la UPM. La idea de disponer de una red para compartir recursos de diferentes disciplinas, con acceso a la misma mediante visores 3D de libre distribución, es una propuesta sobre la que convendría profundizar ya que se podría conseguir, de una forma no muy costosa con el *Know-how* adquirido, que cualquier institución educativa pudiera acceder a dichos recursos.

Como trabajo futuro están previstas nuevas experiencias de uso en las que participen nuevas instituciones de enseñanza superior y secundaria. En dichas experiencias se intentará analizar el grado de



adquisición de competencias prácticas asociadas a diferentes asignaturas de titulaciones de grado del área de la electrónica.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento por la colaboración prestada en la realización de las diferentes experiencias a la profesora Olga López del IES García Morato de Madrid, al profesor José González del IES María Zambrano de Leganés (Madrid) y al profesor Julio Medina del IES Satafi de Getafe (Madrid).

#### REFERENCES

- [1] J. García-Zubía y G. Alves (eds.), *Using Remote Labs in Education*, University of Deusto, Bilbao, 2011.
- [2] L. Gomes and S. Bogosyan, "Current trends in remote laboratories", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, no. 12, pp. 4744-4756, Dec.2009
- [3] J. Garcia-Zubía, D. Lopez-de-Ipiña y P. Orduña, "Evolving Towards Better Architectures for Remote Laboratories: A Practical Case". *International Journal of Online Engineering*, Vol. 1, no. 2, pp. 1-11, Nov. 2005

- [4] A. Bagnasco et al., "A Modular and Extensible Remote Electronic Laboratory", *International Journal of Online Engineering*, 2009, Vol. 1, no 1, pp. 1-6, Jun 2005
- [5] L. Feisel and A. Rosa, "The role of the laboratory in undergraduate engineering education", *Journal of Engineering Education*, vol. 94, no. 1, pp. 121-130, Jan. 2005
- [6] I. Gustavsson, "On remote electronics experiments", in *Using Remote Labs in Education*, J. García Zubía and G. R. Alves (eds.), University of Deusto, Bilbao, 2011, pp. 157-176
- [7] Z. Nedic and J. Machotka, "Remote laboratory NetLab for effective teaching of 1st year engineering students", *International Journal of Online Engineering*, vol. 3, no. 3, 2007.

#### AUTHORS

**Sergio López, Antonio Carpeño y Jesús Arriaga** son profesores del Departamento de Sistemas Electrónicos y de Control de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Ctra. Valencia Km.7, 28031, Madrid, Spain. (email: {antonio.cruiz, sergio.lopez, jesus.arriaga}@upm.es).